

УДК 620.9:657.471

**С. В. Здитовецкая**, ассистент (БГТУ);**В. И. Володин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ)

### ВЛИЯНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА

Исследовано влияние потерь давления в элементах оборудования со стороны хладагента на энергетические характеристики трансформатора тепла. Получены результаты параметров цикла с различными хладагентами. Выявлено, что необратимые потери отрицательно влияют на режимные параметры и их необходимо учитывать при проектировании и выборе оборудования для трансформаторов тепла.

It is investigated how pressure losses in the equipment elements from the refrigerant sight influence on the energy characteristics of the heat transformer. The results of cycle parameters with different refrigerants use are received. It is revealed that the irreversible loss cause negative impact on the regime parameters and should be considered in the design and selection of equipment for the heat transformers.

**Введение.** Трансформатор тепла представляет собой сложную техническую систему. Критерием его возможного использования является энергетическая эффективность, на которую влияет работа как основного оборудования, так и элементов, связывающих его в одно устройство. Роль этих элементов часто в расчетных методах не принимается во внимание. Обычно вопрос решается на эмпирическом уровне.

Имеющиеся рекомендации [1, 2] по предельным потерям давления со стороны хладагента в испарителе и конденсаторе трансформатора тепла не являются достаточным условием для проектирования оптимального устройства, так как не учитывается влияние конкретных условий эксплуатации.

В отличие от известных публикаций [1–3], в данной работе проведено численное исследование количественного влияния потерь давления в элементах оборудования контура, обусловленных трением и местными сопротивлениями, на энергетические характеристики трансформатора тепла.

**Объект и метод исследования.** Исследуется холодильно-нагревательная установка, которая применяется для охлаждения парного молока с последующим использованием теплоты на технологические нужды. Схема представлена на рис. 1.

Установка работает в нестационарном режиме, который определяется работой испарителя. Аппарат выполнен в виде непроточного теплообменника объемного типа. В испаритель загружается охлаждаемое молоко объемом 1000 л с начальной температурой 35°C. Для интенсификации процесса молоко перемешивается мешалкой. Теплота, отводимая от молока, в конденсаторе используется для нагрева воды, применяемой на технологические нужды.

В исследуемой установке конденсатор представляет собой однозаходный змеевиковый теплообменник с вытеснителем. Труба змееви-

ка (18×1,5 мм) выполнена из стали, диаметр змеевика составляет 0,242 м, число витков – 40, относительный шаг – 1,1. Схема течения сред в конденсаторе противоточно-перекрестная. Температура конденсации поддерживалась на уровне 50°C. Температура воды на входе в конденсатор составляла 5°C. При работе установки должно выполняться предельное требование по времени охлаждения молока – не более 3 ч до температуры 4°C. В качестве рабочего вещества использовался хладагент R22.

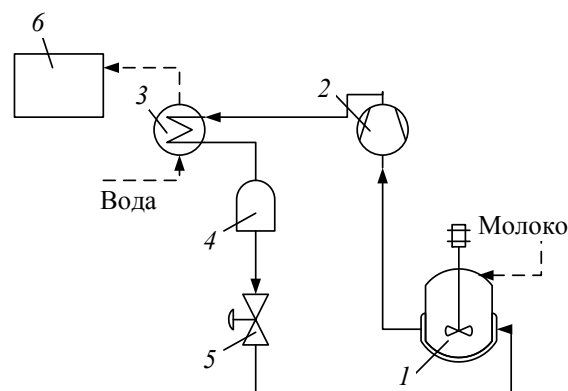


Рис. 1. Холодильно-нагревательная установка:  
1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор;  
4 – ресивер; 5 – терморегулирующий вентиль;  
6 – бак-аккумулятор

В настоящей работе анализ проводился с помощью комплексного метода расчета парокомпрессионных трансформаторов тепла. Данный метод включает в себя совместный расчет параметров цикла и теплообменников контура с учетом необратимых потерь в контуре. Метод анализа реализован в виде пакета прикладных программ на языке Фортран [4, 5].

**Результаты вычислительного эксперимента.** Исследовано влияние потерь давления со стороны хладагента, обусловленных трением и местными сопротивлениями, на эффектив-

ность установки. На  $ph$ -диаграммах (рис. 2, 3) приведены параметры термодинамических циклов, соответствующие начальному и конечному режимам работы установки с характерным временем 30 и 130 мин.

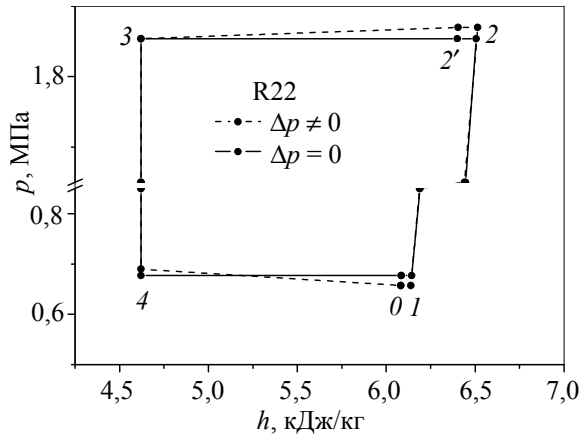


Рис. 2. Параметры цикла в начале работы установки (через 30 мин):  
1–2(2') – необратимое (обратимое) сжатие в компрессоре; 2–3 – отвод тепла в конденсаторе;  
3–4 – дросселирование; 4–0–1 – кипение и перегрев в испарителе

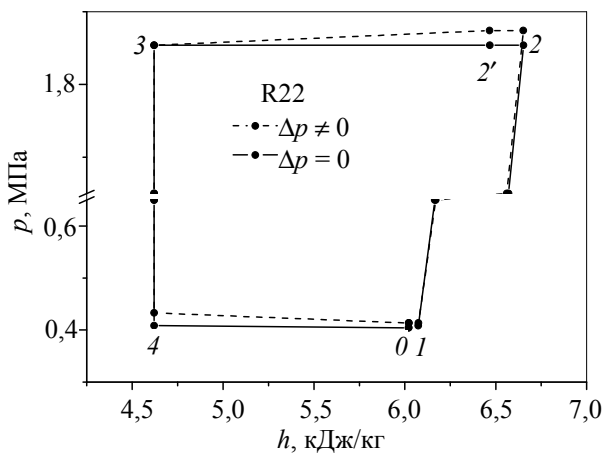


Рис. 3. Параметры цикла в конце работы установки (через 130 мин). Обозначения те же

Из сравнения циклов видно, что по мере увеличения времени работы установки давление в испарителе уменьшается, в то время как в конденсаторе оно остается практически постоянным. Это приводит к росту степени сжатия в компрессоре  $\sigma = p_2 / p_1$ , которая для рассматриваемых случаев увеличилась с 3,07 до 4,47. Затрачиваемая удельная работа на привод компрессора возросла в 1,5 раза. Следствием этого является уменьшение холодо- и теплопроизводительности для любого фиксированного режима.

На рис. 4 показано изменение холодопроизводительности установки. Потери давления снижают холодопроизводительность в среднем

на 5%. Здесь также указаны два режима работы установки, соответствующие 30 и 130 мин. Для них приведено значение мощности, потребляемой компрессором, и значение холодильного коэффициента. Видно, что потери давления приводят к снижению холодильного коэффициента в 1,02 раз. Уменьшение холодопроизводительности приводит к снижению мощности на привод компрессора, но при этом потери давления практически не влияют на ее изменение.

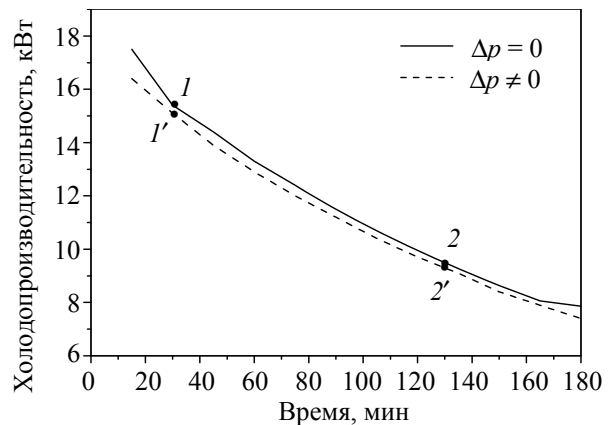


Рис. 4. Изменение холодопроизводительности установки от потерь давления:

1 –  $N_{эл} = 6,28$  кВт,  $\varepsilon = 2,5$  (при  $\Delta p = 0$ );  
1' –  $N_{эл} = 6,19$  кВт,  $\varepsilon = 2,43$  (при  $\Delta p \neq 0$ );  
2 –  $N_{эл} = 5,47$  кВт,  $\varepsilon = 1,74$  (при  $\Delta p = 0$ );  
2' –  $N_{эл} = 5,43$  кВт,  $\varepsilon = 1,67$  (при  $\Delta p \neq 0$ )

С течением времени охлаждения снижается температура молока (рис. 5). При наличии потерь давления она имеет более низкое значение, что соответствует данным, представленным на рис. 4.

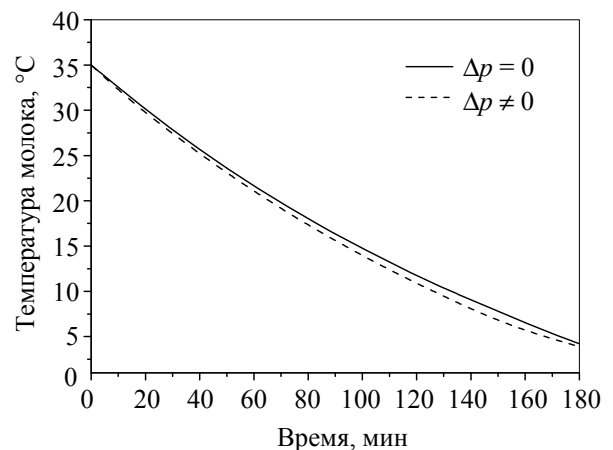


Рис. 5. Изменение температуры молока от потерь давления

Изменение теплопроизводительности установки имеет характер, аналогичный представленному на рис. 4 для холодопроизводительности.

Потери давления приводят к снижению теплопроизводительности на 3,5–5,0%.

В качестве альтернативных рабочих веществ для холодильно-нагревательной установки рассматривались хладагенты R134a и R134a-R152a (80% R134a и 20% R152a). Термодинамические циклы для данных хладагентов представлены на рис. 6, 7.

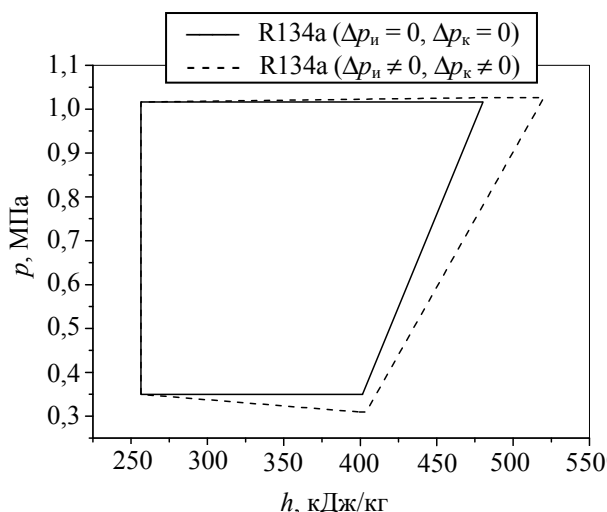


Рис. 6. Параметры цикла хладагента R134a

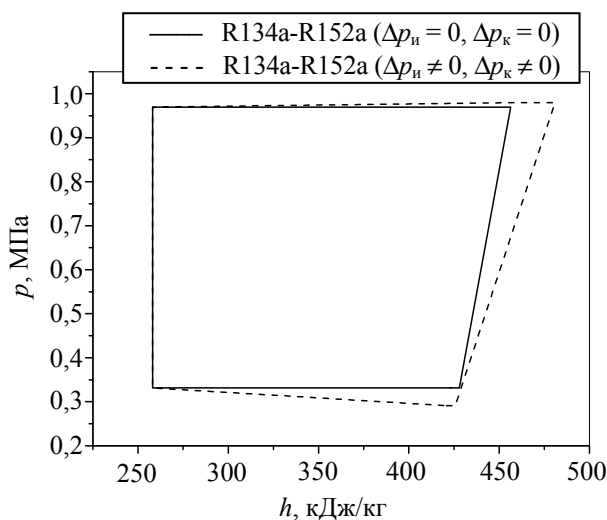


Рис. 7. Параметры цикла хладагента R134a-R152a

При наличии потерь давления реальные циклы данных рабочих веществ существенно отличаются от идеальных, по сравнению с циклами для хладагента R22 (рис. 2, 3). Наблюдается заметное падение давления на входе в компрессор и увеличение удельной работы. Удельная работа, затрачиваемая на сжатие хладагента, возрастает в ~1,5 раза. Это обусловлено свойствами данных хладагентов, в частности меньшим значением плотности.

**Закключение.** Таким образом, потери давления приводят к росту потребления энергии на привод компрессора и снижению энергетической эффективности установки.

Следовательно, их необходимо учитывать при проектировании и выборе оборудования для трансформаторов тепла. Уменьшение потерь давления со стороны хладагента в испарителе и конденсаторе для рассмотренного режима работы может повысить эффективность устройства до 5%.

### Литература

1. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова [и др.]; под общ. ред. Г. Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986. – 302 с.
2. Гопин, С. Р. Воздушные конденсаторы малых холодильных машин / С. Р. Гопин, В. М. Шавра. – М.: Агропромиздат, 1987. – 149 с.
3. Шавра, В. М. Основы холодильной техники и технологии пищевых отраслей промышленности / В. М. Шавра. – М.: Делипринт, 2002. – 126 с.
4. Володин, В. И. Комплексный подход к расчету параметров компрессионной холодильной машины / В. И. Володин // Холодильная техника. – 1998. – № 2. – С. 8–10.
5. Здитовецкая, С. В. Пакет прикладных программ для комплексного анализа компрессионных тепловых насосов / С. В. Здитовецкая, В. И. Володин // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 5. – С. 85–90.

Поступила 01.03.2012